Forestry Canada Forêts Canada

90-06802/

PNFI Technical Reports

Petawawa National Forestry Institute, Chalk River, Ontario K0J 1J0, Canada

1

MERCHANTABLE VOLUME CONVERSION FACTORS AND TAPER EQUATIONS FOR COMMERCIAL TREE SPECIES OF ONTARIO

I.S. Alemdag

INTRODUCTION

The merchantable volume of single trees or stands is widely required in forestry. Many lumber companies, for example, base their operations on the merchantable volume they obtain from the forest. Merchantable volume of a tree can be defined as the volume of a stem from a given stump height to a given merchantable diameter or to a specified height along the stem. For a given utilization standard this volume changes with the size of the stem in both its absolute and relative (percentage) values. This makes it necessary to develop prediction equations for different utilization standards as well as for different tree sizes. Taper curves, volume equations for a given diameter of utilization, and ratio expressions for variable merchantable diameters and merchantable heights are the three main approaches to estimate merchantable volume. Examples of studies using these concepts are by Behre (1927), Bennett et al. (1959), and Burkhart (1977), respectively. Taper equations are also useful for calculating stem volume, and for estimating the efficiency of sawmilling and lumber production operations.

In an earlier report (Alemdag 1988), the ratio concept was studied in detail. A method for merchantable volume estimation was developed and taper equations were derived for one softwood species and one hardwood species in Ontario. Using the same method, the aim of the present report is to present merchantable volume conversion factors for 28 commercial tree species in Ontario. The species studies are listed in Table 1.

DATA

The data employed in this study were collected in 1978-1983 as a part of two biomass studies. A summary is presented in Table 2. All sample trees were cut at a fixed stump height of 0.30 m. In addition to breast height diameter, diameters at three locations along the stem were measured: one where diameter outside bark was 9.2 cm, and the others at 1/3 and 2/3 of the height from ground level to the 9.1 cm point. Heights to these three locations were also taken. Later, the volume of each of these 1/3 sections was calculated.

It should be noted that here, diameters are expressed in centimetres, heights (including stump height) in metres, and volumes in cubic metres (inside bark, regardless of decay and defect). Thus:

- D = breast height diameter at 1.30 m, outside bark
- d = merchantable top diameter, inside bark
- H = total tree height
- h = merchantable height (height from ground level to a specified utilization limit)
- hs = stump height
- VT = total stem volume from ground level to the tip of the tree
- VM = merchantable volume (volume from stump height to a specified utilization limit)
- VS30 = stump volume at 0.30 m stump height
- VS = stump volume at a given stump height
- VP = top volume above a given merchantable top diameter, or, above a given merchantable height
- VL = ground-to-limit volume (volume from ground level to a specified utilization limit)

Figure 1 illustrates these variables.

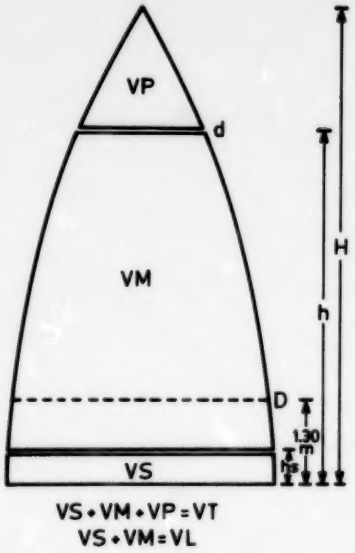

Figure 1. Volume components of a stem and its dimensional measurements.

METHOD

Because the method of developing merchantable volume conversion factors as ratios was explained in detail by Alemdag (1988), only a summary is provided here. When volume distribution is studied in two trees of the same shape (assumed to be proportionally similar in all dimension) it will be seen that volume ratio remains the same for a given h/H ratio and approximately the same for a given d/D ratio. Figure 2 verifies this theorem, illustrating the distribution of volume ratios over relative diameters and relative heights using data from white spruce.

In order to obtain the merchantable volume/total stem volume ratio, the following procedure is followed sequentially: (1) estimate ground-to-limit volume ratio; (2) estimate stump volume ratio; and, (3) estimate merchantable volume ratio. After the merchantable volume ratio is determined, it is used as a conversion factor with a given total stem volume for calculating the merchantable volume.

RESULTS

Results of the above procedure are provided below:

(1) The ground-to-limit volume ratios (VL/VT, or K) were expressed as a function of d/D or h/H, where d and he are flexible values. Based on the relationships shown in Figure 2, several mathematical models were tested and the most promising, as shown in Table 3, were used in the subsequent analyses. These are conditioned models, because K is 1 when d/D is zero or h/H is 1. The linear regression technique was

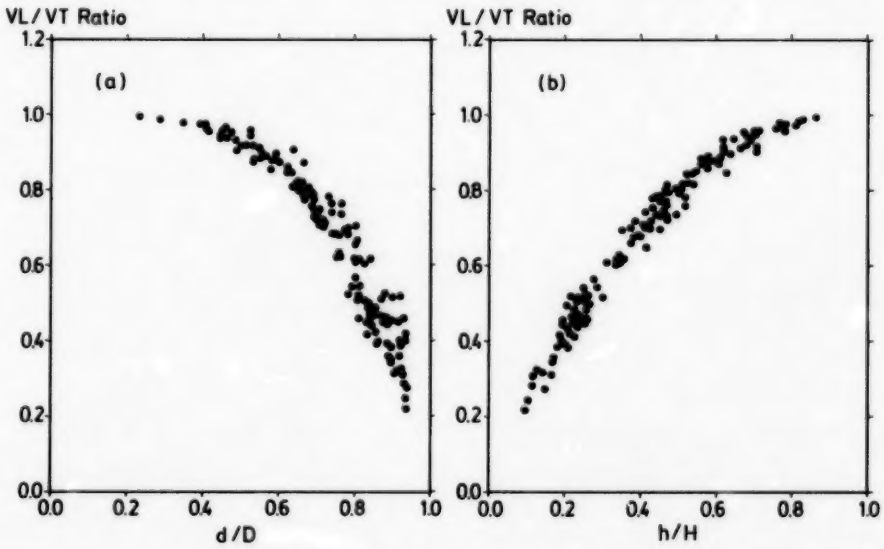

Figure 2. Scatterdiagrams showing the relationships of VL/VT ratios with (a) d/D ratios, and (b) h/H ratios: an example with white spruce.

used to develop the equations and the results of the analyses for each species were evaluated by their fit index (FI) (Alemdag 1986) and the standard error of estimate (SEE%) values. Models 1 and 3 produced almost identical results and also better results than that of Model 2. Similarly, Models 4 and 6 performed better than Model 5. For these reasons Model 1 was adopted for the d/D expression and Model 4 for the h/H expression.* These models for all species, together with their regression coefficients and statistical data, are presented in Table 4.

(2) Estimating stump volume ratios at the 0.30 m stump height (VS30/VT) as a function of D and H, or VT, was not feasible because of the stump volume ratio's weak and insignificant relationships with these values, possibly because of inconsistent butt flare. For this reason the mean values of these ratios were adopted for each species as shown in Table 5. However, as these are averages for the 0.30 m stump height and because stump volume ratio may be required at other stump heights, a conversion factor (p) was developed for this purpose by a geometrical method in which the stump was assumed to be the frustum of a neiloid (Alemdag 1988). This factor for all species is

$$p = 3.610 \bullet hs - 0.922 \bullet hs^2 \qquad (1)$$

and the stump volume ratio at a given stump height for each species is

$$VS/VT = (VS30/VT) \bullet p \qquad (2)$$

(3) Establishing the merchantable volume ratio (VM/VT) or the merchantable volume conversion factor for a given merchantable top diameter or merchantable height is done simply by taking the difference between the ground-to-limit volume ratio and the stump volume ratio. Hence:

$$VM/VT = VL/VT - VS/VT, \text{ or} \qquad (3)$$

$$VM/VT = VL/VT - (VS30/VT) \bullet p \qquad (4)$$

$$VM/VT = 1 + b_1 \bullet (d/D)^{b_2} - VS30/VT \bullet (3.610 \bullet hs - 0.922 \bullet hs^2) \qquad (5a)$$

$$VM/VT = 1 + c_1 \bullet (1 - h/H)^{c_2} - VS30/VT \bullet (3.610 \bullet hs - 0.922 \bullet hs^2) \qquad (5b)$$

After developing equations for ground-to-limit volume ratios, their effectiveness was checked using an independent set of data. For each individual tree the difference between the observed values and the estimated values was calculated. Then for all trees of each species the mean absolute difference (bias) was computed. For the d/D expression the weighted average bias for softwoods is +0.011 and for hardwoods +0.018; for the h/H expression these are -0.002 and -0.001, respectively.

Finally the ratio equations developed here were compared with Honer's equations (Honer 1967, and Honer et al. 1983). Honer's two principal merchantable volume ratio equations for six softwood and three hardwood species were used in the comparisons: one as a function of $(d/D)^2$ and the other as a function of h/H. Both incorporate a variable stump height. These equations, together with their regression coefficients, were applied to the same independent data set which covers a variety of tree sizes, top diameters, and merchantable heights, and the results are summarized in Table 6. Comparison with the performances of equations presented in this report indicate that mean residuals are negligible using both methods and that there is almost no difference between the two approaches. Another comparison, using all nine species and studying behavior of individual observations revealed that there is no systematic error in either method. They both overestimate or underestimate.

If desired, taper equations can be derived from these merchantable volume ratio equations for estimates of d and h by equating the two VL/VT equations of each species and then solving for d and for h as outlined by Alemdag (1988). Accuracy will be less at both ends of the stem than in between. When developed, these taper equations will have the following forms:

$$d = D \bullet \left[\frac{c_1 \bullet (1 - h/H)^{c_2}}{b_1} \right]^{1/b_2} \qquad (6)$$

$$h = H \bullet \left[1 - \left(\frac{b_1 \bullet (d/D)^{b_2}}{c_1} \right)^{1/c_2} \right] \qquad (7)$$

These equations compare very well with the form-class taper curves developed earlier by the Canadian Forestry Service (Anon. 1930 and 1948) and later formulated by Alemdag (1983). For more precise estimates, the method developed by Newnham (1988) can be used.

---

* Please note that the previously suggested Model 6 for red pine and sugar maple (Alemdag 1988) is now replaced by Model 4.

APPLICATION OF THE CONVERSION FACTORS AND THE TAPER EQUATIONS

The application of these merchantable volume conversion factors is straightforward and simple. The following steps should be taken:

1. Decide on the merchantable top diameter (d) or merchantable height (h);
2. Measure breast height diameter (D) or total tree height (H), and the stump height (hs);
3. Calculate d/D or h/H, whichever is appropriate;
4. Use the appropriate formula for the species concerned, with the coefficients given in Table 4, for estimating the VL/VT ratio or K;
5. Calculate VS/VT ratio using average VS30/VT ratio from Table 5, and the p of measured hs;
6. Subtract VS/VT from VL/VT to find merchantable volume ratio (VM/VT) for this particular case (Items 4, 5, and 6 can be combined into one as illustrated in Equations 5a and 5b);
7. Multiply this merchantable volume conversion factor by the total stem volume (VT) to arrive at merchantable volume. Note that VT could be eight in metric or imperial measure and could also be expressed as a formula.

An example of this procedure is found in Table 7, using white spruce, once for d/D = 0.35 and once for h/H = 0.60. In this case, 0.35 means, for instance, 7 cm/20 cm, 8 cm/22.9 cm, 9 cm/25.7 cm, and 0.60 means, for instance, 12 m/20 m, 16 m/26.67 m, 18 m/30 m.

It should be noted that the merchantable equations presented in this report can also be used:

(a) with stand averages;
(b) for studying the volume distribution within a stem at various heights or at various stem diameters; and,
(c) for estimating the volume of a segment of a stem between two given heights or between two given stem diameters.

Using taper equations for estimating d requires the knowledge of D, H and h, and for estimating h, the knowledge of D, H and d. For instance for a white spruce with D = 22.0 cm and H = 18.60 m, diameter at 15.00 m above ground is 7.6 cm, and height along the stem to correspond a diameter of 12.5 cm is 11.06 m.

Although these findings are applicable to conditions similar to those in Ontario for any particular species, a test of their adequacy is recommended beforehand. These formulas can easily be incorporated with the calculation programs of an electronic field data collector.

REFERENCES

Alemdag, I.S. 1983. Formulation of the form-class taper curves. Environ. Can., Can. For. Serv., Petawawa Natl. For. Inst., Inf. Rep. PI-X-22.

Alemdag, I.S. 1986. Estimating ovendry mass of trembling aspen and white birch using measurements from aerial photographs. Can. J. For. Res. 16:163-165.

Alemdag, I.S. 1988. A ratio method for calculating stem volume to variable merchantable limits, and associated taper equations. For. Chron. 64:18-26.

Anon. 1930. Form-class volume tables. Can. Dept. Interior, Forest Serv.

Anon. 1948. Form-class volume tables. Can. Dept. Mines and Res., Dominion Forest Serv.

Behre, C.E. 1927. Form-class taper curves and volume tables and their application. J. Agri. Res. 35:673-744.

Bennett, F.A., McGee, C.E., and J.L. Clutter. 1959. Yield of old-field slash pine plantations. USDA Forest Serv. South. For. Exp. Sta., Sta. Pap. 107.

Burkhart, H.E. 1977. Cubic-foot volume of loblolly pine to any merchantable top limit. South. J. Appl. For. 1:7-9.

Honer, T.G. 1967. Standard volume tables and merchantable conversion factors for the commercial tree species of central and eastern Canada. Can. Dept. For. Rural Dev., Forest Manage. Res. Services Inst., Inf. Rep. FMR-X-5.

Honer, T.B.; Ker, M.F.; Alemdag, I.S. 1983. Metric timber tables for the commercial tree species of central and eastern Canada. Environ. Can., Can. For. Serv., Maritimes Forest Res. Centre, Inf. Rep. M-X-140.

Newnham, R.M. 1988. A variable-form taper function. Can. For. Serv., Petawawa Natl. For. Inst., Inf. Rep. PI-X-83.

Table 1. List of the species studied.

Common name	Latin name
Softwoods	
Cedar, eastern red	*Juniperus virginiana* L.
Cedar, eastern white	*Thuja occidentalis* L.
Fir, balsam	*Abies balsamea* (L.) Mill.
Hemlock, eastern	*Tsuga canadensis* (L.) Carr.
Pine, eastern white	*Pinus strobus* L.
Pine, jack	*Pinus banksiana* Lamb.
Pine, red	*Pinus resinosa* Ait.
Spruce, black	*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.
Spruce, white	*Picea glauca* (Moench) Voss
Tamarack	*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch
Hardwoods	
Ash, black	*Fraxinus nigra* Marsh.
Ash, red	*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.
Ash, white	*Fraxinus americana* L.
Aspen, largetooth	*Populus grandidentata* Michx.
Aspen, trembling	*Populus tremuloides* Michx.
Basswood	*Tilia americana* L.
Beech, American	*Fagus grandifolia* Ehrh.
Birch, white	*Betula papyrifera* Marsh.
Birch, yellow	*Betula alleghaniensis* Britton
Cherry, black	*Prunus serotina* Ehrh.
Elm, white	*Ulmus americana* L.
Hickory	*Carya spp.*
Maple, red	*Acer rubrum* L.
Maple, silver	*Acer saccharinum* L.
Maple, sugar	*Acer saccharum* Marsh.
Oak, red	*Quercus rubra* L.
Oak, white	*Quercus alba* L.
Poplar, balsam	*Populus balsamifera* L.

Table 2. Summary of observations.

Species	N*	n*	D (cm)		H (m)		d/D		h/H		VL/VT	
			Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
Softwoods												
Cedar, eastern red	16	41	18.2	10.8-38.2	9.14	6.30-12.75	0.696	0.230-0.964	0.384	0.127-0.735	0.711	0.318-0.995
Cedar, eastern white	67	171	22.6	10.2-38.8	13.08	8.30-19.00	0.624	0.198-0.972	0.458	0.102-0.850	0.744	0.239-0.992
Fir, balsam	46	117	15.3	10.0-27.4	14.65	8.00-19.20	0.744	0.292-0.957	0.381	0.081-0.781	0.628	0.186-0.979
Hemlock, eastern	124	316	29.3	10.2-51.4	16.52	5.17-26.50	0.583	0.117-0.908	0.500	0.111-0 901	0.760	0.278-0.998
Pine, eastern white	130	334	34.7	9.9-68.7	21.38	5.40-38.50	0.575	0.114-0.931	0.538	0.103-0.956	0.769	0.235-0.999
Pine, jack	70	186	16.6	10.2-26.8	17.83	11.90-23.50	0.699	0.317-0.935	0.431	0.098-0.847	0.667	0.206-0.986
Pine, red	102	266	29.3	10.3-55.1	18.66	7.10-34.35	0.590	0.147-0.936	0.517	0.098-0.931	0.753	0.229-0.999
Spruce, black	42	108	13.6	10.0-22.2	13.59	9.10-18.90	0.767	0.360-0.945	0.357	0.079-0.772	0.598	0.173-0.977
Spruce, white	58	149	16.6	10.4-35.8	13.77	6.20-23.20	0.715	0.229-0.936	0.414	0.096-0.862	0.668	0.217-0.993
Tamarack	60	156	20.9	10.3-33.8	19.87	11.05-26.70	0.655	0.219-0.903	0.458	0.108-0.841	0.722	0.241-0.993
All softwoods	715	1844	24.6	9.9-68.7	17.13	5.17-38.50	0.638	0.117-0.972	0.470	0.079-0.956	0.720	0.173-0.999
Hardwoods												
Ash, black	18	42	17.2	10.1-33.1	15.01	9.15-20.30	0.702	0.218-0.932	0.397	0.102-0.775	0.681	0 265-0.991
Ash, red	20	57	22.8	12.0-40.2	19.34	13.50-26.70	0.598	0.206-0.867	0.450	0.132-0.828	0.727	0.304-0.993
Ash, white	63	162	26.3	10.7-53.7	18.89	11.75-26.93	0.567	0.151-0.895	0.455	0.138-0.837	0.764	0.323-0.996
Aspen, largetooth	71	180	19.2	9.6-39.2	19.68	11.60-28.90	0.661	0.207-0.927	0.430	0.066-0.849	0.687	0.143-0.996
Aspen, trembling	163	419	19.5	10.1-43.5	19.58	9.58-27.25	0.683	0.182-0.941	0.433	0.085-0.852	0.680	0.188-0.999
Basswood	68	173	30.3	11.5-54.8	19.38	9.41-26.10	0.582	0.141-0.913	0.476	0.121-0.852	0.761	0.270-0.998
Beech, American	70	182	27.8	10.5-46.3	19.77	9.72-26.50	0.615	0.184-0.955	0.468	0.106-0.858	0.759	0.254-0.995
Birch, white	100	258	19.5	10.1-32.7	18.29	11.70-22.25	0.666	0.232-0.951	0.430	0.071-0.797	0.711	0.208-0.989
Birch, yellow	88	228	37.3	10.4-70.3	20.49	10.00-25.60	0.556	0.124-0.934	0.468	0.088-0.874	0.781	0.255-0.998
Cherry, black	63	161	26.1	9.5-49.6	18.59	8.35-25.92	0.577	0.159-0.936	0.468	0.087-0.850	0.762	0.190-0.996
Elm, white	65	174	22.8	11.3-55.2	14.61	7.96-23.24	0.592	0.180-0.935	0.398	0.083-0.824	0.743	0.286-0.998
Hickory	65	172	23.5	10.0-46.6	21.21	11.60-29.40	0.585	0.185-0.907	0.430	0.076-0.821	0.733	0.222-0.992
Maple, red	37	97	27.8	13.5-45.2	20.04	10.76-25.35	0.574	0.185-0.896	0.453	0.152-0.796	0.771	0.396-0.994
Maple, silver	31	80	27.3	13.3-45.3	21.96	14.15-26.38	0.578	0.172-0.899	0.441	0.106-0.812	0.770	0.353-0.994
Maple sugar	93	238	31.1	10.0-57.8	19.75	9.86-26.41	0.596	0.133-0.925	0.448	0.076-0.838	0.750	0.203-0.997
Oak, red	135	324	25.5	10.1-55.3	17.18	9.92-23.00	0.585	0.171-0 926	0.477	0.106-0.869	0.777	0.255-0.997
Oak, white	49	126	28.2	9.9-74.3	12.99	5.00-21.50	0.577	0.119-0.945	0.424	0.125-0.803	0.761	0.283-0.996
Poplar, balsam	86	219	25.6	10.0-53.2	18.87	8.70-27.00	0.584	0.136-0.912	0.460	0.121-0.884	0.748	0.283-0.998
All hardwoods	1285	3292	25.4	9.5-74.3	18.77	5.00-29.40	0.608	0.119-0.955	0.446	0.066-0.889	0.741	0.143-0.999

Table 3. Conditioned models tested for ratios of ground-to-limit volume.

Model No.	Model form
	Using d/D as a variable
1	$K = 1 + b_1 \cdot (d/D)^{b_2}$
2	$K = 1 + b_1 \cdot (\ln(d/D + 1))^{b_2}$
3	$K = \exp(b_1 \cdot (d/D)^{b_2})$
	Using h/H as a variable
4	$K = 1 + c_1 \cdot (1 - h/H)^{c_2}$
5	$K = 1 + c_1 \cdot (0.693147 - \ln(h/H + 1))^{c_2}$
6	$K = \exp(c_1 \cdot (1 - h/H)^{c_2})$

K = VL/ VT

Table 4. Regression coefficients and statistics of the species for the adopted models as a function of d/D (Model 1) and of h/H (Model 4).

Species	Model No. 1				Model No. 4			
	b_1	b_2	FI	SEE%	c_1	c_2	FI	SEE%
Softwoods								
Cedar, eastern red	-0.66136	2.909	0.905	8.72	-1.15595	3.365	0.872	10.10
Cedar, eastern white	-0.81648	3.159	0.951	5.90	-0.98263	2.664	0.963	5.17
Fir, balsam	-0.86347	3.404	0.957	7.21	-1.01939	2.366	0.982	4.66
Hemlock, eastern	-0.65424	2.724	0.781	12.54	-1.16050	2.846	0.965	5.01
Pine, eastern white	-0.83899	3.284	0.888	8.93	-1.12164	2.587	0.979	3.86
Pine, jack	-1.04369	3.831	0.933	8.37	-1.01570	2.262	0.986	3.78
Pine, red	-0.92826	3.348	0.907	8.36	-1.12875	2.539	0.967	5.01
Spruce, black	-0.93210	3.711	0.910	10.78	-1.01964	2.343	0.981	4.95
Spruce, white	-0.87185	3.535	0.943	7.65	-0.99657	2.363	0.982	4.28
Tamarack	-0.85188	3.364	0.881	9.91	-1.05346	2.578	0.957	5.99
All softwoods	-0.80382	3.159	0.894	9.66	-1.08457	2.597	0.964	5.62
Hardwoods								
Ash, black	-0.66590	2.823	0.758	16.13	-1.06067	2.823	0.956	6.86
Ash, red	-1.13077	3.430	0.869	10.77	-1.19828	2.976	0.969	5.25
Ash, white	-0.85795	2.898	0.764	12.21	-1.07355	3.057	0.932	6.56
Aspen, largetooth	-1.01248	3.510	0.941	7.90	-1.13992	2.706	0.985	3.97
Aspen, trembling	-0.90924	3.475	0.930	8.58	-1.11695	2.687	0.983	4.28
Basswood	-0.75815	2.822	0.876	9.20	-1.17853	3.042	0.956	5.47
Beech, American	-0.70626	2.982	0.848	10.36	-1.05299	2.900	0.956	5.59
Birch, white	-0.86363	3.387	0.927	8.05	-1.05008	2.728	0.976	4.61
Birch, yellow	-0.76194	2.914	0.859	9.45	-1.09292	3.319	0.953	5.48
Cherry, black	-0.90094	3.152	0.783	12.48	-1.09331	3.005	0.954	5.75
Elm, white	-0.97656	3.111	0.750	12.89	-0.93001	3.110	0.927	6.95
Hickory	-1.03149	3.155	0.773	13.63	-1.00293	2.898	0.945	6.69
Maple, red	-0.78771	2.814	0.924	6.91	-1.05371	3.092	0.975	3.99
Maple, silver	-0.82344	2.943	0.865	8.99	-1.00476	3.113	0.954	5.26
Maple, sugar	-0.72968	2.840	0.847	11.09	-1.24846	3.425	0.954	6.09
Oak, red	-0.74310	2.926	0.797	11.14	-1.03191	2.900	0.942	5.93
Oak, white	-0.72134	2.551	0.756	12.62	-0.95672	3.122	0.873	9.10
Poplar, balsam	-1.06239	3.363	0.795	11.91	-1.11369	2.941	0.969	4.65
All hardwoods	-0.81861	3.009	0.840	11.13	-1.08301	2.978	0.945	6.53

Table 5. Mean stump volume ratios (VS30/VT) at 0.30 m stump height.

Softwoods	VS30/VT	Hardwoods	VS30/VT
Cedar, eastern red	0.0517	Ash, black	0.0577
Cedar, eastern white	0.0634	Ash, red	0.0607
Fir, balsam	0.0581	Ash, white	0.0541
Hemlock, eastern	0.0596	Aspen, largetooth	0.0409
Pine, eastern white	0.0485	Aspen, trembling	0.0438
Pine, jack	0.0446	Basswood	0.0477
Pine, red	0.0476	Beech, American	0.0557
Spruce, black	0.0603	Birch, white	0.0585
Spruce, white	0.0596	Birch, yellow	0.0688
Tamarack	0.0529	Cherry, black	0.0556
All softwoods	0.0539	Elm, white	0.0574
		Hickory	0.0519
		Maple, red	0.0570
		Maple, silver	0.0704
		Maple, sugar	0.0554
		Oak, red	0.0673
		Oak, white	0.0534
		Poplar, balsam	0.0543
		All hardwoods	0.0552

Table 6. Results of the merchantable volume ratio comparison with Honer's expressions (with hs = 0.30 m).

Species	Number of observations	Mean difference (bias)*			
		d/D expression		h/H expression	
		Honer's	Alemdag's	Honer's	Alemdags
Fir, balsam	19	0.017	0.010	-0.002	-0.004
Pine, eastern white	55	-0.026	-0.004	-0.014	-0.004
Pine, jack	30	-0.006	-0.004	-0.076	0.004
Pine, red	44	0.019	0.019	-0.019	-0.001
Spruce, black	17	-0.024	-0.009	-0.005	0.000
Spruce, white	24	-0.024	0.015	-0.009	-0.004
Birch, white	42	-0.045	0.011	-0.018	-0.002
Birch, yellow	37	-0.047	0.004	-0.024	0.000
Poplar, balsam	36	0.071	0.029	-0.044	-0.001
Weighted averages		-0.008	0.008	-0.025	-0.001

* Difference = estimated-observed

Table 7. An example of the estimated volume ratios of different stem components by various stump heights using Models 1 and 4 for white spruce.

d/D	h/H	Stump height (m)	Ground-to-limit volume	Top volume as ratio	Stump volume of total	Merch. volume / stem volume	Total volume*
0.35		0.10	0.9787	0.0213	0.0210	0.9577	1.0
		0.20	0.9787	0.0213	0.0408	0.9379	1.0
		0.30	0.9787	0.0213	0.0596	0.9191	1.0
		0.40	0.9787	0.0213	0.0773	0.9014	1.0
	0.60	0.10	0.8857	0.1143	0.0210	0.8647	1.0
		0.20	0.8857	0.1143	0.0408	0.8449	1.0
		0.30	0.8857	0.1143	0.0596	0.8261	1.0
		0.40	0.8857	0.1143	0.0773	0.8084	1.0

* Either ground-to-limit volume plus top volume, or, stump volume plus merchantable volume plus top volume.

1990

ISSN 1180-2618
ISBN 0-662-17724-X
Catalogue No. Fo29-26/1E

Canada

Rapports techniques de l'IFNO

Institut forestier national de Petawawa, Chalk River (Ontario), K0J 1J0, Canada

1

COEFFICIENTS DE CALCUL DU VOLUME MARCHAND ET ÉQUATIONS DU DÉFILEMENT CHEZ LES ESSENCES COMMERCIALES DE L'ONTARIO

I.S. Alemdag

INTRODUCTION

En exploitation forestière, un paramètre précieux est le volume marchand d'un arbre ou d'un peuplement. Beaucoup de sociétés de coupe, par exemple, déterminent leur activité d'après le volume marchand qu'elles tirent de la forêt. Le volume marchand d'un arbre peut se définir comme le volume de la tige, compte tenu d'une hauteur donnée de la souche, en fonction d'un diamètre marchand donné ou d'une hauteur donnée de la tige. Pour une norme donnée d'utilisation, ce volume varie selon les dimensions de tige, tant de façon absolue que relative (pourcentage). D'où la nécessité de construire des équations prédictives pour différentes normes d'utilisation de même que pour différentes dimensions des arbres. Les courbes du défilement, les équations du volume en fonction d'un diamètre donné d'utilisation et l'expression, sous forme de rapports, de diamètres et de hauteurs marchands variables sont des façons d'estimer le volume marchand. Comme exemples d'études reposant sur ces notions, citons celles de Behre (1927), de Bennett et collab. (1959) et de Burkhart (1977), respectivement. Les équations du défilement sont également utiles au calcul du volume de la tige et à l'estimation de l'efficacité du débitage et de la production de sciages.

Dans une étude antérieure (Alemdag, 1988), la notion de «rapport» a été examinée en détail. Une méthode d'estimation du volume marchand a été mise au point et des équations du défilement ont été obtenues pour une essence de résineux et pour une essence de feuillu de l'Ontario. L'objet du présent rapport est de décrire, selon la même méthode, les coefficients de conversion en volume marchand de 28 essences exploitées en Ontario. Les essences sont énumérées au tableau 1.

DONNÉES

Les données utilisées ont été recueillies de 1978 à 1983 dans le cadre de deux études de la biomasse. Le sommaire des observations est présenté au tableau 2. Tous les arbres échantillons ont été coupés à une hauteur fixe de souche (0,30 m). Outre le diamètre à hauteur de poitrine, le diamètre a été mesuré en trois points le long de la tige : au point où le diamètre avec écorce était de 9,2 cm; au tiers et aux deux tiers de la hauteur par rapport au sol du point correspondant au diamètre de 9,1 cm. Les hauteurs correspondant à ces trois points ont également été mesurées. Ultérieurement, on a calculé le volume de chacun de ces tiers de tige.

Soulignons que les diamètres sont donnés en centimètres, les hauteurs, y compris celles de la souche, en mètres, et les volumes en mètres cubes (sans écorce, sans égard à la pourriture et aux défauts). Ainsi :

- D = diamètre avec écorce à 1,30 m de hauteur;
- d = le diamètre marchand au fin bout, sans écorce;
- H = la hauteur totale de l'arbre;
- h = hauteur marchande (du niveau du sol jusqu'à une limite précise d'utilisation);
- hs = hauteur de souche;
- VT = volume total de la tige, du niveau du sol jusqu'à l'extrémité de l'arbre;
- VM = volume marchand (de la hauteur de souche jusqu'à une limite précise d'utilisation);
- VS30 = volume de la souche à la hauteur de 0,30 m;
- VS = volume de la souche à une hauteur donnée de souche;
- VP = volume du fin bout au-dessus d'un diamètre marchand donné au fin bout ou au-dessus d'une hauteur marchande donnée;
- VL = volume de la tige depuis le niveau du sol jusqu'à une limite précise d'utilisation.

La figure 1 donne des exemples de ces paramètres.

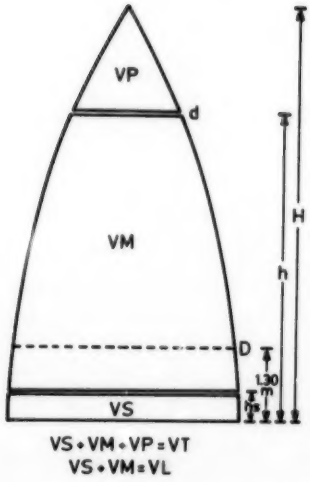

Figure 1. Les composants de volume de la tige et les mesures de dimensions.

MÉTHODE

La méthode d'obtention des rapports de conversion en volume marchand ayant été expliquée en détail par Alemdag (1988), on n'en donnera qu'un résumé dans le présent rapport. Lorsque la répartition du volume est étudiée dans deux arbres de même forme (que l'on suppose proportionnellement semblables dans toutes les dimensions), on constate que le rapport volumique reste le même pour un rapport de h/H donné et à peu près le même pour un rapport de d/D. La figure 2 confirme ce théorème et montre la répartition des volumes relatifs selon les diamètres et les hauteurs relatifs au moyen de données obtenues sur l'épinette blanche.

Afin d'obtenir le rapport du volume marchand au volume total de la tige, il faut suivre dans l'ordre les étapes suivantes : (1) estimer le volume relatif à partir du niveau du sol jusqu'à une limite donnée d'utilisation par rapport au volume total de la tige; (2) estimer le rapport du volume de la souche au volume total de la tige; (3) estimer le rapport du volume marchand au volume total de la tige. Ce dernier rapport sert de coefficient de conversion d'un volume total donné de la tige en volume marchand.

RÉSULTATS

Les résultats de ce mode opératoire sont donnés ci-dessous :

(1) Les rapports du volume entre la hauteur du sol et une limite donnée d'utilisation au volume total de la tige (VL/VT, ou K) ont été exprimés comme une fonction de d/D ou de h/H, où d et h sont des valeurs variables. À la lumière des rapports montrés à la figure 2, plusieurs modèles mathématiques ont été éprouvés, et le plus prometteur, montré au tableau 3, a servi au cours des analyses ultérieures. Ces modèles ont comme condition que K égale 1 si d/D égale 0 ou h/H égale 1. L'élaboration des équations a été obtenue par régression linéaire, tandis que les résultats des analyses de chaque essence ont été évalués par l'indice d'ajustement (IA) (Alemdag, 1986) et par l'erreur type de l'estimation (ETE en %). Les modèles 1 et 3 ont donné des résultats presque

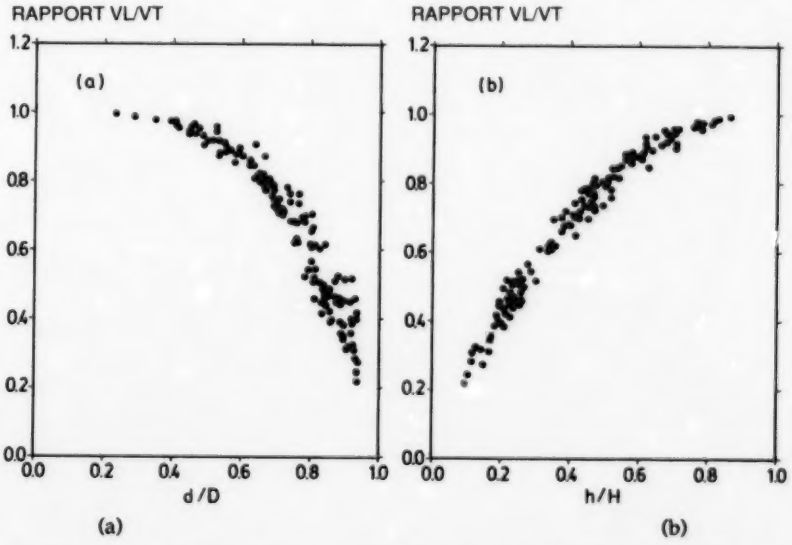

Figure 2. Le rapport de VL/VT en relation avec les rapports de d/D (a) et de h/H (b) : un exemple de l'épinette blanche.

identiques, meilleurs aussi que ceux du modèle 2. De même, les modèles 4 et 6 ont donné de meilleurs résultats que le modèle 5. C'est pourquoi le modèle 1 a été adopté pour l'expression de d/D, et le modèle 4 pour celle de h/H.* Pour toutes les essences, ces modèles de même que les coefficients et les données statistiques sont présentés au tableau 4.

(2) L'estimation du rapport du volume de la souche de 0,30 m de hauteur au volume total (VS30/VT) en fonction de D et de H, ou VT, a été impossible en raison de la relation faible et non significative du volume de la souche avec ces valeurs, probablement en raison de l'évasement inconstant du gros bout. C'est pourquoi les moyennes de ces rapports ont été adoptées pour chaque essence comme il est montré au tableau 5. Toutefois, comme il s'agit de moyennes pour une hauteur de souche de 0,30 m et comme le rapport du volume de la souche au volume total peut être demandé pour d'autres hauteurs de souche, on a élaboré à cette fin un coefficient de conversion au moyen d'une méthode géométrique posant comme hypothèse que la souche est un paraboloïde tronqué de Neil (le plus souvent appelé «neiloïde», voir Alemdag, 1988). Pour toutes les essences, ce coefficient est comme suit :

$$p = 3{,}610 \cdot hs - 0{,}922 \cdot hs^2 \qquad (1)$$

et le rapport du volume de la souche au volume total de la tige, pour une hauteur donnée de la souche et pour chaque essence, est comme suit :

$$VS/VT = (VS30/VT) \cdot p \qquad (2)$$

(3) La détermination du rapport du volume marchand au volume total (VM/VT) ou du coefficient de conversion en volume marchand pour un diamètre marchand donné au fin bout ou une hauteur marchande donnée se fait tout simplement par calcul de la différence entre le rapport du volume de la tige à partir du sol jusqu'à une limite donnée d'utilisation au volume total de la tige et le rapport du volume de la souche au volume total de la tige. D'où :

$$VM/VT = VL/VT - VS/VT \text{ ou} \qquad (3)$$

$$VM/VT = VL/VT - (VS30/VT) \cdot p \qquad (4)$$

$$VM/VT = 1+b_1 \cdot (d/D)^{b_2} - VS30/VT \cdot (3{,}610 \cdot hs - 0{,}922 \cdot hs^2) \qquad (5a)$$

$$VM/VT = 1+c \cdot (1 - h/H)^{c_2} - VS30/VT \cdot (3{,}610 \cdot hs - 0{,}922 \cdot hs^2) \qquad (5b)$$

Après avoir construit des équations pour les rapports du volume à partir du sol jusqu'à une limite d'utilisation au volume total de la tige, on vérifie leur efficacité au moyen d'un ensemble indépendant de données. Pour chaque arbre, on calcule la différence entre les valeurs observées et les valeurs estimées. Ensuite, pour tous les arbres de chaque essence, on calcule la différence absolue moyenne (erreur systématique). Pour l'expression d/D, le biais moyen pondéré pour les résineux est de + 0,011 et pour les feuillus de + 0,018; pour l'expression h/H, ces valeurs sont de - 0,002 et de - 0,001 respectivement.

Enfin, les équations des rapports qui sont décrites ici ont été comparées à celles de Honer (1967) et de Honer et collab. (1983). À fin de comparaison, les deux principales équations du rapport du volume marchand de Honer ont été utilisées pour six essences de résineux et trois essences de feuillus : la première, fonction de $(d/D)^2$; la seconde, fonction de (h/H). Les deux englobent une hauteur variable de souche. Ces équations, de même que les coefficients de régression qui leur sont attachés, ont été appliquées au même ensemble indépendant de données qui s'appliquent à une variété de dimensions d'arbres, de diamètres au fin bout et de hauteurs marchandes. Les résultats sont résumés au tableau 6. La comparaison de la performance de ces équations avec celles des équations décrites dans le présent rapport montrent que le résidu moyen des deux méthodes est négligeable et que celles-ci ne diffèrent presque pas entre elles. Une autre comparaison, au moyen des neuf essences, par l'étude du comportement de chaque observation, a révélé qu'aucune méthode ne souffrait d'une erreur systématique. Les présentent des surestimations ou des sous-estimations.

Si on le désire, on peut tirer des équations du défilement de ces équations du volume marchand pour des estimations de d et de h en établissant une relation d'égalité entre les deux équations de VL/VT de chaque essence, puis en les résolvant pour d et h, comme l'a exposé Alemdag (1988). Le long de la tige, l'exactitude est supérieure ailleurs qu'aux extrémités. Développées, ces équations du défilement auront la forme suivante :

$$d = D \cdot \left[\frac{c_1 \cdot (1 - h/H)^{c_2}}{b_1}\right]^{1/b_2} \qquad (6)$$

$$h = H \cdot \left[1 - \frac{\left(b_1 \cdot (d/D)^{b_2}\right)}{c_1}\right]^{1/c_2} \qquad (7)$$

Ces équations se comparent très bien aux courbes du défilement selon les classes de forme construites par le Service canadien des forêts (Anonyme, 1930 et 1948), formulées plus tard par

* À noter que le modèle 6, qui avait été recommandé pour le pin rouge et l'érable à sucre (Alemdag, 1988), est désormais remplacé par le modèle 4.

Alemdag (1983). Pour une estimation plus précise, on peut utiliser la méthode de Newnham (1988).

APPLICATION DES COEFFICIENTS DE CONVERSION ET DES ÉQUATIONS DU DÉFILEMENT

L'application de ces coefficients de conversion en volume marchand est simple et facile. On devrait suivre les étapes suivantes :

1. Sélectionner le diamètre marchand en fin bout (d) ou la hauteur marchande (h);

2. Mesurer le diamètre à hauteur de poitrine (D) ou la hauteur totale de l'arbre (h), puis la hauteur de la souche (hs);

3. Calculer le rapport de d/D ou de h/H, selon ce qui s'applique;

4. Utiliser la formule convenant à l'essence, dont les coefficients sont donnés au tableau 4, pour estimer le rapport de VL/VT ou le K;

5. Calculer le rapport de VS/VT en utilisant le rapport moyen de VS30/VT, tiré du tableau 5, et le p de la hs mesurée;

6. Soustraire VS/VT de VL/VT pour trouver le rapport du volume marchand au volume total (VM/VT) pour ce cas particulier (les étapes 4, 5 et 6 peuvent être réunies en une seule, comme le montrent les équations 5a et 5b);

7. Multiplier le coefficient de conversion en volume marchand par le volume total de la tige (VT) pour obtenir le volume marchand. À noter que VT pourrait être en unités métriques ou anglo-saxonnes et pourrait également s'exprimer au moyen d'une formule.

Le tableau 7 donne un exemple de la marche à suivre, avec l'épinette blanche, d'abord avec d/D = 0,35, puis avec h/H = 0,60. Dans ce cas, 0,35 signifie par exemple 7 cm/20 cm, 8 cm/22,9 cm, 9 cm/25,7 cm, tandis que 0,60 signifie, par exemple, 12 m/20 m, 16 m/26,67 m, 18 m/30 m.

À noter que les équations du volume marchand présentées dans ce rapport pourraient également servir :

a) avec les moyennes d'un peuplement;
b) à l'étude de la répartition du volume le long de la tige, à diverses hauteurs ou à divers diamètres;
c) à l'estimation des volumes de tronçons de tige entre deux hauteurs données ou entre deux diamètres donnés.

L'emploi des équations du défilement pour estimer d exige de connaître D, H et h, tandis que pour l'estimation de h, il faut connaître D, H et d. Par exemple, pour une épinette blanche dont D = 22,0 cm et H = 18,60 m, le diamètre à 15,00 m au dessus du sol est de 7,6 cm et la hauteur qui correspond au diamètre de 12,5 cm est de 11,06 m.

Même si ces chiffres s'appliquent aux conditions semblables à celles qui règnent en Ontario à l'égard d'une essence donnée, il est recommandé, avant de les employer, d'en vérifier la justesse. Ces formules peuvent facilement s'intégrer aux programmes de calcul dans une unité électronique de collecte de données sur le terrain.

RÉFÉRENCES

Alemdag, I.S. 1984. Formulation de courbes de défilement exprimées en quotient de forme. Environ. Can., Serv. can. for., Inst. for. nat. Petawawa, Rapp. d'inf. PI-X-22 F

Alemdag, I.S. 1986. Estimating ovendry mass of trembling aspen and white birch using measurements from aerial photographs. Can. J. For. Res. 16:163-165.

Alemdag, I.S. 1988. A ratio method for calculating stem volume to variable merchantable limits, and associated taper equations. For. Chron. 64:18-26.

Anon. 1930. Form-class volume tables. Can. Dept. Interior, Forest Serv.

Anon. 1948. Form-class volume tables. Can. Dept. Mines and Res., Dominion Forest Serv.

Behre, C.E. 1927. Form-class taper curves and volume tables and their application. J. Agri. Res. 35:673-744.

Bennett, F.A., McGee, C.E., and J.L. Clutter. 1959. Yield of old-field slash pine plantations. USDA Forest Serv. South. For. Exp. Sta., Sta. Pap. 107.

Burkhart, H.E. 1977. Cubic-foot volume of loblolly pine to any merchantable top limit. South. J. Appl. For. 1:7-9.

Honer, T.G. 1967. Standard volume tables and merchantable conversion factors for the commercial tree species of central and eastern Canada. Can. Dept. For. Rural Dev., Forest Manage. Res. Services Inst., Inf. Rep. FMR-X-5.

Honer, T.B.; Ker, M.F.; Alemdag, I.S. 1983. Metric timber tables for the commercial tree species of central and eastern Canada. Environ. Can., Can. For. Serv., Maritimes Forest Res. Centre, Inf. Rep. M-X-140.

Newnham, R.M. 1988. A variable-form taper function. Can. For. Serv., Petawawa Natl. For. Inst., Inf. Rep. PI-X-83.

Tableau 1. Liste des essences étudiées

Nom vernaculaire	Nom scientifique
Résineux	
Genévrier rouge	*Juniperus virginiana* L.
Thuya occidental	*Thuja occidentalis* L.
Sapin baumier	*Abies balsamea* (L.) Mill.
Pruche du Canada	*Tsuga canadensis* (L.) Carr.
Pin blanc	*Pinus strobus* L.
Pin gris	*Pinus banksiana* Lamb.
Pin rouge	*Pinus resinosa* Ait.
Épinette noire	*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.
Épinette blanche	*Picea glauca* (Moench) Voss
Mélèze laricin	*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch
Feuillus	
Frêne noir	*Fraxinus nigra* Marsh.
Frêne rouge	*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.
Frêne blanc	*Fraxinus americana* L.
Peuplier à grandes dents	*Populus grandidentata* Michx.
Peuplier faux-tremble	*Populus tremuloides* Michx.
Tilleul d'Amérique	*Tilia americana* L.
Hêtre à grandes feuilles	*Fagus grandifolia* Ehrh.
Bouleau à papier	*Betula papyrifera* Marsh.
Bouleau jaune	*Betula alleghaniensis* Britton
Cerisier tardif	*Prunus serotina* Ehrh.
Orme d'Amérique	*Ulmus americana* L.
Caryer	*Carya spp.*
Érable rouge	*Acer rubrum* L.
Érable argenté	*Acer saccharinum* L.
Érable à sucre	*Acer saccharum* Marsh.
Chêne rouge	*Quercus rubra* L.
Chêne blanc	*Quercus alba* L.
Peuplier baumier	*Populus balsamifera* L.

Tableau 2. Sommaire des observations

Essence	N*	n*	D (cm)		H (m)		d/D		h/H		VL/VT	
			Moyenne	Plage	Moyenne	Plage	Moyenne	Plage	Moyenne	Plage	Moyenne	Plage
Résineux												
Genévrier rouge	16	41	18,2	10,8-38,2	9,14	6,30-12,75	0,696	0,230-0,964	0,384	0,127-0,735	0,711	0,318-0,995
Thuya occidental	67	171	22,6	10,2-38,8	13,08	8,30-19,00	0,624	0,198-0,972	0,458	0,102-0,850	0,744	0,239-0,992
Sapin baumier	46	117	15,3	10,0-27,4	14,65	8,00-19,20	0,744	0,292-0,957	0,381	0,081-0,781	0,628	0,186-0,979
Pruche du Canada	124	316	29,3	10,2-51,4	16,52	5,17-26,50	0,583	0,117-0,908	0,500	0,111-0,901	0,760	0,278-0,998
Pin blanc	130	334	34,7	9,9-68,7	21,38	5,40-38,50	0,575	0,114-0,931	0,538	0,103-0,956	0,769	0,235-0,999
Pin gris	70	186	16,6	10,2-26,8	17,83	11,90-23,50	0,699	0,317-0,935	0,431	0,098-0,847	0,667	0,206-0,986
Pin rouge	102	266	29,3	10,3-55,1	18,66	7,10-34,35	0,590	0,147-0,936	0,517	0,098-0,931	0,753	0,229-0,999
Épinette noire	42	108	13,6	10,0-22,2	13,59	9,10-18,90	0,767	0,360-0,945	0,357	0,079-0,772	0,598	0,173-0,977
Épinette blanche	58	149	16,6	10,4-35,8	13,77	6,20-23,20	0,715	0,229-0,936	0,414	0,096-0,862	0,668	0,217-0,993
Mélèze laricin	60	156	20,9	10,3-33,8	19,87	11,05-26,70	0,655	0,219-0,903	0,458	0,108-0,841	0,722	0,241-0,993
Ensemble des résineux	715	1844	24,6	9,9-68,7	17,13	5,17-38,50	0,638	0,117-0,972	0,470	0,079-0,956	0,720	0,173-0,999
Feuillus												
Frêne noir	18	42	17,2	10,1-33,1	15,01	9,15-20,30	0,702	0,218-0,932	0,397	0,102-0,775	0,681	0,265-0,991
Frêne rouge	20	57	22,8	12,0-40,2	19,34	13,50-26,70	0,598	0,206-0,867	0,450	0,132-0,828	0,727	0,304-0,993
Frêne blanc	63	162	26,3	10,7-53,7	18,89	11,75-26,93	0,567	0,151-0,895	0,455	0,138-0,837	0,764	0,323-0,996
Peuplier à grandes dents	71	180	19,2	9,6-39,2	19,68	11,60-28,90	0,661	0,207-0,927	0,430	0,066-0,849	0,687	0,143-0,996
Peuplier faux-tremble	163	419	19,5	10,1-43,5	19,58	9,58-27,25	0,683	0,182-0,941	0,433	0,085-0,852	0,680	0,188-0,999
Tilleul d'Amérique	68	173	30,3	11,5-54,8	19,38	9,41-26,10	0,582	0,141-0,913	0,476	0,121-0,852	0,761	0,270-0,998
Hêtre à grandes feuilles	70	182	27,8	10,5-46,3	19,77	9,72-26,50	0,615	0,184-0,955	0,468	0,106-0,858	0,759	0,254-0,995
Bouleau à papier	100	258	19,5	10,1-32,7	18,29	11,70-22,25	0,666	0,232-0,951	0,430	0,071-0,797	0,711	0,208-0,989
Bouleau jaune	88	228	37,3	10,4-70,3	20,49	10,00-25,60	0,556	0,124-0,934	0,468	0,088-0,874	0,781	0,255-0,998
Cerisier tardif	63	161	26,1	9,5-49,6	18,59	8,35-25,92	0,577	0,159-0,936	0,468	0,087-0,850	0,762	0,190-0,996
Orme d'Amérique	65	174	22,8	11,3-55,2	14,61	7,96-23,24	0,592	0,180-0,935	0,398	0,083-0,824	0,743	0,286-0,998
Caryer	65	172	23,5	10,0-46,6	21,21	11,60-29,40	0,585	0,185-0,907	0,430	0,076-0,821	0,733	0,222-0,992
Érable rouge	37	97	27,8	13,5-45,2	20,04	10,76-25,35	0,574	0,185-0,896	0,453	0,152-0,796	0,771	0,396-0,994
Érable argenté	31	80	27,3	13,3-45,3	21,96	14,15-26,38	0,578	0,172-0,899	0,441	0,106-0,812	0,770	0,353-0,994
Érable à sucre	93	238	31,1	10,0-57,8	19,75	9,86-26,41	0,596	0,133-0,925	0,448	0,076-0,838	0,750	0,203-0,997
Chêne rouge	135	324	25,5	10,1-55,3	17,18	9,92-23,00	0,585	0,171-0,926	0,477	0,106-0,889	0,777	0,255-0,997
Chêne blanc	49	126	28,2	9,9-74,3	12,99	5,00-21,50	0,577	0,119-0,945	0,424	0,125-0,803	0,761	0,283-0,996
Peuplier baumier	86	219	25,6	10,0-53,2	18,87	8,70-27,00	0,584	0,136-0,912	0,460	0,121-0,884	0,748	0,283-0,998
Ensemble des feuillus	1285	3292	25,4	9,5-74,3	18,77	5,00-29,40	0,608	0,119-0,955	0,446	0,066-0,889	0,741	0,143-0,999

Tableau 3. Modèles à valeurs conditionnelles vérifiés pour le rapport du volume de la tige à partir du sol jusqu'à une limite donnée au volume total

N° du modèle	Formulation
	Avec d/D comme variable
1	$K = 1 + b_1 * (d/D)^{b_2}$
2	$K = 1 + b_1 * (\ln(d/D + 1))^{b_2}$
3	$K = \exp(b_1 * (d/D)^{b_2})$
	Avec h/H comme variable
4	$K = 1 + c_1 * (1 - h/H)^{c_2}$
5	$K = 1 + c_1 * (0.693147 - \ln(h/H + 1))^{c_2}$
6	$K = \exp(c_1 * (1 - h/H)^{c_2})$

K = VL / VT

Tableau 4. Coefficients de régression et statistiques des essences pour les modèles adoptés en fonction de d/D (modèle 1) et de h/H (modèle 4)

Essence	Modèle 1				Modèle 4			
	b_1	b_2	IA	ETE en %	c_1	c_2	FI	ETE en %
Résineux								
Genévrier rouge	-0,66136	2,909	0,905	8,72	-1,15595	3,365	0,872	10,10
Thuya occidental	-0,81648	3,159	0,951	5,90	-0,98263	2,664	0,963	5,17
Sapin baumier	-0,86347	3,404	0,957	7,21	-1,01939	2,366	0,982	4,66
Pruche du Canada	-0,65424	2,724	0,781	12,54	-1,16050	2,846	0,965	5,01
Pin blanc	-0,83899	3,284	0,888	8,93	-1,12164	2,587	0,979	3,86
Pin gris	-1,04369	3,831	0,933	8,37	-1,01570	2,262	0,986	3,78
Pin rouge	-0,92826	3,348	0,907	8,36	-1,12875	2,559	0,967	5,01
Épinette noire	-0,93210	3,711	0,910	10,78	-1,01964	2,343	0,981	4,95
Épinette blanche	-0,87185	3,535	0,943	7,65	-0,99657	2,363	0,982	4,28
Mélèze laricin	-0,85188	3,364	0,881	9,91	-1,05346	2,578	0,957	5,99
Ensemble des résineux	-0,80382	3,159	0,894	9,66	-1,08457	2,597	0,964	5,62
Feuillus								
Frêne noire	-0,66590	2,823	0,758	16,13	-1,06067	2,823	0,956	6,86
Frêne rouge	-1,13077	3,430	0,869	10,77	-1,19828	2,976	0,969	5,25
Frêne blanc	-0,85795	2,898	0,764	12,21	-1,07355	3,057	0,932	6,56
Peuplier à grandes dents	-1,01248	3,510	0,941	7,90	-1,13992	2,706	0,985	3,97
Peuplier faux-tremble	-0,90924	3,475	0,930	8,58	-1,11695	2,687	0,983	4,28
Tilleul d'Amérique	-0,75815	2,822	0,876	9,20	-1,17853	3,042	0,956	5,47
Hêtre à grandes feuilles	-0,70626	2,982	0,848	10,36	-1,05299	2,900	0,956	5,59
Bouleau à papier	-0,86363	3,387	0,927	8,05	-1,05008	2,728	0,976	4,61
Bouleau jaune	-0,76194	2,914	0,859	9,45	-1,09292	3,319	0,953	5,48
Cerisier tardif	-0,90094	3,152	0,783	12,48	-1,09331	3,005	0,954	5,75
Orme d'Amérique	-0,97656	3,111	0,750	12,89	-0,93001	3,110	0,927	6,96
Caryer	-1,03149	3,155	0,773	13,63	-1,00293	2,898	0,945	6,69
Érable rouge	-0,78771	2,814	0,924	6,91	-1,05371	3,092	0,975	3,99
Érable argenté	-0,82344	2,943	0,865	8,99	-1,00476	3,113	0,954	5,26
Érable à sucre	-0,72968	2,840	0,847	11,09	-1,24846	3,425	0,954	6,09
Chêne rouge	-0,74310	2,926	0,797	11,14	-1,03191	2,900	0,942	5,93
Chêne blanc	-0,72134	2,551	0,756	12,62	-0,95672	3,122	0,873	9,10
Peuplier baumier	-1,06239	3,363	0,795	11,91	-1,11369	2,941	0,969	4,65
Ensemble des feuillus	-0,81861	3,009	0,840	11,13	-1,08301	2,978	0,945	6,53

Tableau 5. Rapport moyen du volume de la souche au volume total (VS30/VT) à la hauteur de souche de 0,30 m

Résineux	VS30/VT	Feuillus	VS30/VT
Genévrier rouge	0,0517	Frêne noire	0,0577
Thuya occidental	0,0634	Frêne rouge	0,0607
Sapin baumier	0,0581	Frêne blanc	0,0541
Pruche du Canada	0,0596	Peuplier à grandes dents	0,0409
Pin blanc	0,0485	Peuplier faux-tremble	0,0438
Pin gris	0,0446	Tilleul d'Amérique	0,0477
Pin rouge	0,0476	Hêtre à grandes feuilles	0,0557
Épinette noire	0,0603	Bouleau à papier	0,0585
Épinette blanche	0,0596	Bouleau jaune	0,0688
mélèze laricin	0,0529	Cerisier tardif	0,0556
Ensemble des résineux	0,0539	Orme d'Amérique	0,0574
		Caryer	0,0519
		Érable rouge	0,0570
		Érable argenté	0,0704
		Érable à sucre	0,0554
		Chêne rouge	0,0673
		Chêne blanc	0,0534
		Peuplier baumier	0,0543
		Ensemble des feuillus	0,0552

Tableau 6. Résultats de la comparaison du rapport du volume marchand au volume total avec les valeurs de Honer (hs = 0,30 m)

Essence	Nombre d'observations	Écart moyen (erreur systématique)*			
		d/D		h/H	
		selon Honer	selon Alemdag	selon Honer	selon Alemdag
Sapin baumier	19	0,017	0,010	-0,002	-0,004
Pin blanc	55	-0,026	-0,004	-0,014	-0,004
pin gris	30	-0,006	-0,004	-0,076	0,004
Pin rouge	44	0,019	0,019	-0,019	-0,001
Épinette noire	17	-0,024	-0,009	-0,005	0,000
Épinette blanche	24	-0,024	0,015	-0,009	-0,004
Bouleau à papier	42	-0,045	0,011	-0,018	-0,002
Bouleau jaune	37	-0,047	0,004	-0,024	0,000
Peuplier baumier	36	0,071	0,029	-0,044	-0,001
Moyennes pondérées		-0,008	0,008	-0,025	-0,001

* Différence entre les estimations et les observations

Tableau 7. Exemple de l'estimation du volume relatif de divers éléments de la tige selon diverses hauteurs de la souche au moyen des modèles 1 et 4 appliqués à l'épinette blanche

d/D	h/H	Hauteur de la souche (m)	Volume, du sol à une hauteur limite	Volume résiduel au fin bout	Volume de la souche au volume total	Volume marchand au volume de la tige	Volume total*
0,35		0,10	0,9787	0,0213	0,0210	0,9577	1,0
		0,20	0,9787	0,0213	0,0408	0,9379	1,0
		0,30	0,9787	0,0213	0,0596	0,9191	1,0
		0,40	0,9787	0,0213	0,0773	0,9014	1,0
	0,60	0,10	0,8857	0,1143	0,0210	0,8647	1,0
		0,20	0,8857	0,1143	0,0408	0,8449	1,0
		0,30	0,8857	0,1143	0,0596	0,8261	1,0
		0,40	0,8857	0,1143	0,0773	0,8084	1,0

* Soit le volume à partir du sol jusqu'à une limite d'utilisation plus le volume résiduel au fin bout, soit le volume de la souche plus le volume marchand plus le volume résiduel au fin bout.

1990

Canada

ISSN 1180-5757
ISBN 0-662-96223-0
Catalogue No. Fo29-26/1F

Forêts Canada Forestry Canada